

## Research

# Distribution des larves de sardine et d'anchois le long du filament du Cap Ghir (région nord-ouest Africaine)

Amina BERRAHO<sup>1,\*</sup>, Omar ETTAHIRI<sup>1</sup>, Timothée BROCHIER<sup>2</sup>, Aissa BENAZZOUZ<sup>1</sup>, Jamila LARISSI<sup>1</sup>, Ahmed MAKAOUI<sup>1</sup>, Laila SOMOUE<sup>1</sup>, Siham SALAH<sup>3</sup>, Karim HILMI<sup>1</sup> et Abdellatif ORBI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut National de Recherche Halieutique, Boulevard Sidi Abderrahmane, 20030 Casablanca, Maroc

<sup>2</sup>Institut National de recherche Agronomique, Centre de Recherche Océanographique de Dakar-Thiaroye Co-IRD, Campus de Hann, Dakar, Sénégal

<sup>3</sup>Faculté des Sciences, Laboratoire d'Ecologie Aquatique et Environnement, Ain Chok Casablanca, Maroc

\*Correspondance: Tél.: (+212) 522-94-07-73 ; Télécopie: (+212) 522-94-07-71. Courriel:

[amina\\_berraho@yahoo.fr](mailto:amina_berraho@yahoo.fr) (A. BERRAHO)

Reçu le 25/01/2012; accepté le 25/10/2012; publié en ligne le 14/11/2012

Oceanraise © MS 25250112

## Résumé

L'une des caractéristiques des systèmes d'upwellings côtiers est la présence de structures méso-échelles que la littérature appelle des « filaments d'upwelling », des extensions vers le large de masses d'eaux issues de l'upwelling. Ces filaments impactent la structure des communautés planctoniques, dont les larves de petits poissons pélagiques, considérées comme traceurs biologiques des filaments d'upwelling. Sur la côte Atlantique marocaine, le plus important de ces filaments est celui du Cap Ghir. Le présent travail présente une étude des caractéristiques hydrologiques et du plancton entreprise dans la région du Cap Ghir (31°N) à travers cinq campagnes océanographiques réalisées durant la période 2008-2009. L'analyse des mesures de température, salinité et de concentration de chlorophylle *a* montre une variabilité spatio-temporelle de la direction de la dérive des eaux d'upwelling vers le large, qui amène ces eaux alternativement au nord ou au sud du 31<sup>ème</sup> parallèle nord. Cette variabilité observée *in situ*, est confirmée par l'analyse des images satellites relatives aussi bien à la SST qu'à la couleur d'eau de mer. Sur le plan biologique, l'impact des filaments d'upwelling est étudié à travers la distribution des larves de sardines et d'anchois collectées dans la zone du Cap Ghir. Ainsi, la répartition des tailles moyennes pondérées de ces larves montre un transport vers le large selon un schéma de circulation vers le nord et le sud de la zone côtière d'upwelling.

**Mots clefs:** Cap Ghir ; Filament d'upwelling ; Hydrologie ; Larves ; Sardine ; Anchois.

## Abstract

One of the characteristics of the coastal upwelling phenomenon is the presence at meso scale and particular places of upwelling filaments. Filaments are surface offshore extensions of the cold upwelling water mass. These active hydrodynamics structures are known to impact the structure of the plankton communities, such as fish larvae (especially small pelagics) which may be regarded as biological tracers of the paths of the upwelling filaments. On the Atlantic Moroccan coast a major upwelling filaments is found at Cape Ghir. Here, a study of hydrological characteristics and plankton is undertaken in the area off Cape Ghir (31°N) through five oceanographic cruises carried out during the period 2008-2009. An analysis of the hydrological parameters (temperature, salinity and chlorophyll *a*) shows a space-time variation of the drift of upwelling water towards the offshore with an extension of this water towards the north or the south of the 31<sup>st</sup> degree northern parallel. This is confirmed through analysis of satellite images of SST and ocean colour. At the biological level, the impact of the dynamics of the filament is studied through the behaviour of sardine and anchovy larvae, collected in the study area. Thus, the distribution of the average balanced sizes of the sardine and anchovy larvae are structured by the presence of circulation toward north and south of the Cape Ghir filament.

**Keywords:** Cape Ghir ; Upwelling Filament ; Hydrology ; Larvae ; Sardine ; Anchovy.

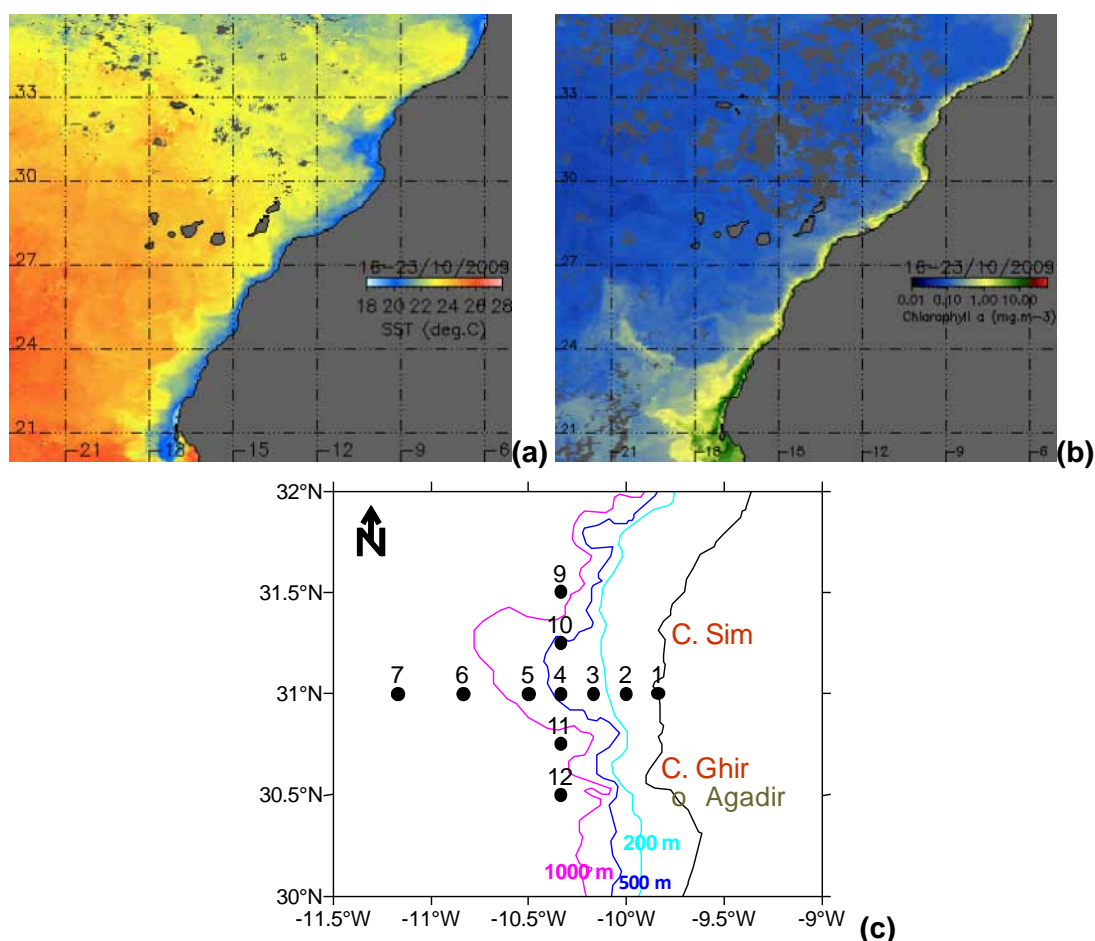
**Title:** Distribution of sardine and anchovy larvae along of the Cape Ghir filament.

## 1. Introduction

La côte atlantique marocaine est le théâtre d'un upwelling côtier généré par le vent dominant du nord-est (les Alizés) qui provoque un transport des eaux de surface vers le large (transport d'Ekman). Un fort upwelling se manifeste au niveau de la zone côtière, mais les images satellites montrent l'extension vers le large de masses d'eaux aux caractéristiques hydrologiques identiques. Ces masses d'eau issues de l'upwelling présentent donc des anomalies négatives de température et de salinité, ainsi qu'une forte richesse en matière organique par rapport aux eaux océaniques, oligotrophes, qui les entourent. De telles structures, communément appelées « filaments », se développent à plusieurs endroits le long de la côte nord-ouest africaine (Nykjaer *et al.*, 1988 ; Van Camp *et al.*, 1991 ; Gabric *et al.*, 1993 ; Hernandez-Ghera & Nykjaer, 1997 ; Davenport *et al.*, 1999, Pelegri *et al.*, 2005a et b). Le filament le plus important de cette côte se trouve à l'ouest du cap Ghir (Stevens & Johnson, 2003) ; il est de caractère permanent car il est détecté même en hiver, alors que l'upwelling est d'intensité réduite (Neuer *et al.*, 2001 ; Garcia-Munoz *et al.*, 2004).

Ces filaments sont également fréquents dans les autres grands systèmes d'upwellings côtiers tels que le système de courant de Californie (Bernstein *et al.*, 1977 ; Flament *et al.*, 1985) et celui du Benguela (Armstrong *et al.*, 1987 ; Shillington *et al.*, 1990), et représentent l'une des composantes de la dynamique des systèmes d'upwellings (Chavez *et al.*, 1991).

Le filament du Cap Ghir s'étend sur plusieurs centaines de kilomètres au large et il est généré par deux tourbillons de sens opposé qui contribuent à former ou maintenir un jet intense qui entraîne les eaux froides issues de l'upwelling vers le large, au moins jusqu'à 13°W (Hagen *et al.*, 1996 ; Stevens & Johnson, 2003). Ceci est visible sur les images satellites de la température de surface de la mer et de la couleur de l'eau qui montrent la structure du filament du Cap Ghir et d'autres filaments le long de la côte Atlantique marocaine (Fig. 1a et b).



**Figure 1.** Image satellite (Modis-AQUA) de (a) la température de surface et de (b) la chlorophylle-a, du 16 au 23 octobre 2009. On distingue la structure spatiale du filament du Cap Ghir ainsi que d'autres filaments le long de la côte Atlantique marocaine. (c) Réseau d'échantillonnage des campagnes océanographiques relatives à la présente étude, composé de la radiale zonale (31°N) et la radiale longitudinale (10°20'N) (les paramètres étudiés sont la température, la salinité, la chlorophylle-a, le mésozooplancton et l'ichtyoplancton).

D'après Strub *et al.* (1991) et Ramp *et al.* (1991), la naissance et le développement des filaments dépendent de plusieurs facteurs dont les principaux sont : (1) l'instabilité baroclinique des courants côtiers, (2) l'irrégularité de la ligne côtière et de la topographie du fond marin, (3) la convergence côtière due à la perturbation éolienne, (4) l'interaction des tourbillons situés au large avec la région côtière et (5) la vitesse du courant. Meunier *et al.*, (2010) suggèrent également l'importance des caractéristiques topographiques du « promontoire » (pointe ou cap) d'où se détachent les filaments, à savoir la largeur, longueur, hauteur et pente ; ils concluent que seules certaines formes spécifiques de promontoires peuvent contribuer à la formation de filaments bien définis. Une étude des mécanismes de génération du filament du Cap Ghir, basée sur l'analyse variationnelle de données et un modèle numérique régional, a confirmée le rôle du vent et de la vorticité potentielle dans la génération et la dynamique du filament. Le signal d'un tourbillon anticyclonique sur le flanc nord du filament a été détecté à une profondeur de 300 m aussi bien à partir des propriétés physiques et biologiques que dans les sorties du modèle numérique (Troupin, 2011).

Généralement les filaments d'upwelling sont des structures de transport du plancton. Navarro-Pérez & Barton (1998) montrent que la quantité de plancton exportée depuis la zone d'upwelling côtière vers le large par les filaments est significativement plus importante que la dérive vers le large due au transport d'Ekman. Ainsi, selon Garcia-Munoz *et al.* (2005), le filament du Cap Ghir exporterait au moins 63% de la production primaire moyenne annuelle entre le cap Mazagan et le cap Ghir, ce qui contribue à un enrichissement des eaux oligotrophes du large toute l'année durant. Enfin, les observations *in situ* ont montré que les larves des clup id s, en particulier celles de sardines et d'anchois, sont de bons traceurs biologiques des filaments d'upwelling dans cette région (Rodriguez *et al.*, 1999 ; B cogn e *et al.*, 2009).

Au niveau de l'écosystème Atlantique marocain, la sardine et l'anchois sont les deux principales espèces pélagiques. Ces espèces sont connues pour présenter une ponte fractionnée (Batch fecundity)   caractère rythmé et caractérisée par un frai nocturne (Blaxter, 1969 ; Motos, 1991). Les pics de ponte de ces deux espèces sont décalés dans le temps : l'hiver pour la sardine et l'été pour l'anchois (Ettahiri, 1996 ; Berraho, 2007). La durée de leurs phases, embryonnaire et larvaire, est variable en fonction de la température du milieu. Ainsi, pour la sardine et l'anchois marocains de la zone centrale (cap Ghir – cap Juby), la phase embryonnaire dure 2 à 3 jours ; alors que la vitesse moyenne de croissance larvaire est estimée à 0,6 mm/jour pour la sardine et 0,55 mm/jour pour l'anchois (Ettahiri, 1996). Toutefois, cette croissance larvaire varie selon l'âge des larves avec une faible vitesse chez les larves de 4 à 15 jours et une vitesse plus rapide chez les larves âgées de plus de 15 jours (Methot & Kramer, 1979 ; Masuda, 2011).   l'éclosion, les larves de la sardine et de l'anchois mesurent 2 à 2,5 mm et la résorption du vitellus à lieu à la taille de 3,4 à 3,8 mm. La mobilité des larves est acquise suite à l'apparition de la nageoire dorsale à la taille de 6 à 7 mm (Berraho, 2007).

L'impact majeur de ces structures filamentaires sur la dynamique de l'interface entre la zone d'upwelling et l'océan ouvert oligotrophe, tant d'un point de vue physique que biologique, a donc motivé la présente étude océanographique focalisée sur le cas du filament du Cap Ghir. Celle-ci a été entreprise dans le cadre du programme CAIBEX afin d'élucider les propriétés physiques et biologiques de ce filament ainsi que la variabilité saisonnière de son intensité.

## 2. Matériels et Méthodes

Cinq campagnes océanographiques relatives à l'étude et au suivi du filament du cap Ghir ont été réalisées selon un rythme saisonnier (décembre 2008, février, avril, juin et octobre 2009). Le réseau d'échantillonnage est composé de deux radiales perpendiculaires : l'une d'est en ouest suivant le 31<sup> me</sup> parallèle nord, comprenant 7 stations numérotées de 1 à 7, entre la côte et l'isobathe 2000 m ; la seconde radiale est longitudinale, suivant le méridien 10 20' ouest, et comprend 5 stations numérotées du nord au sud 9, 10, 4, 11, 12, dont les profondeurs varient entre 500 et 1750 m. La station 4 marque l'intersection entre les deux radiales (Fig. 1c).

Les mesures hydrologiques concernaient : (1) la température et la salinité, mesurées par une CTD et (2) la concentration en chlorophylle-*a*, dos e sur des échantillons d'eau prélevés par une rosette. Les prélèvements ont été réalisés à des niveaux standard (0, 25, 50, 90, 150 m). Le dosage de la chlorophylle-*a* a été réalisé par fluorimétrie.

Les campagnes océanographiques ont été appuyées par des données satellites de température de surface de la mer (SST) et de couleur de l'océan (Chlorophylle) dérivées du satellite Modis-Aqua. Le spectroradiomètre imageur à résolution moyenne (MODIS) est l'un des capteurs les plus perfectionnés actuellement, utilisé pour une large gamme d'applications d'observation des terres, des océans et de l'atmosphère. Il permet des observations sur 36 canaux spectraux dont la résolution spatiale varie de 250 m à 1 km au nadir. Les données

satellite Modis/Aqua du niveau trois (L3) aussi bien pour la SST que pour la couleur de l'océan, utilisées pour ce travail sont disponibles sur le site web (<http://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/MODISA/Mapped/8Day/4km/>)

Les données utilisées sont hebdomadaires avec une résolution spatiale de ~4km. Un travail préliminaire a été appliqué à ces données tel l'application du masque terre et du masque nuage puis l'extraction de notre zone d'étude. Les images qui correspondent aux dates des campagnes océanographiques sont isocontourées (SST et Chl-*a*) pour délimiter l'extension spatiale du filament.

Également, des données du vent global dérivées du produit CCMP (Cross Calibration Multi-Platform) ont été utilisées. Le produit est disponible gratuitement sur le site ftp de la NASA (<ftp://podaac.jpl.nasa.gov>). Le produit de base utilisé, couvrant la période 2008-2009, est un produit journalier de niveau 3 (L3) de la version 'flk' (first luck). La résolution spatiale est de 0,25 degré. Temporellement, les données du vent sont moyennées pour avoir des données hebdomadaires. Les deux composantes majeures du vent CCMP, à savoir la composante zonale et la composante méridionale, ont été extraites séparément pour la réalisation des graphiques.

Le calcul ainsi qu'une présentation du courant géostrophique le long de la radiale zonale (31°N) ont été réalisés par le logiciel ODV (Ocean Data View). La vitesse géostrophique provient des différences dynamiques entre deux stations hydrographiques. Le calcul se fait par paire de stations à partir des paramètres suivants : température, salinité et profondeur et donne deux composantes (nord et est). La résultante de ces deux composantes correspond à la vitesse géostrophique sachant que la composante est négligeable par rapport à celle nord dont le signe détermine la direction du courant (positif vers le nord, négatif vers le sud).

L'ichtyoplancton et le mésozooplancton ont été échantillonnés à l'aide d'un filet Bongo grand modèle de maillage 145µm. Le prélèvement consistait, au niveau de chaque station, en une remontée du filet, le long de la colonne d'eau, de la profondeur de prélèvement jusqu'à la surface (la profondeur maximale est 100m). Les échantillons ont été conservés dans du formol à 5 % pour traitement ultérieur au laboratoire. Les densités d'ichtyoplancton mesurées sont exprimées en nombre de larves par unité de surface. Pour le mésozooplancton, les résultats sont exprimés en milligrammes de biomasse humide par mètre cube (mg m<sup>-3</sup>).

Afin d'étudier la répartition des larves en fonction de leur taille, nous avons calculé leur taille moyenne pondérée par l'effectif associé à chaque classe de taille pondérant le centre de classe par cet effectif selon la formule suivante :

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^N x_i.n_i / \sum_{i=1}^N n_i \quad (1)$$

Où  $\bar{X}$  représente la moyenne pondérée, N est le nombre de classes de tailles,  $x_i$  la taille moyenne de la classe de taille  $i$  et  $n_i$  l'effectif de la classe de taille  $i$ .

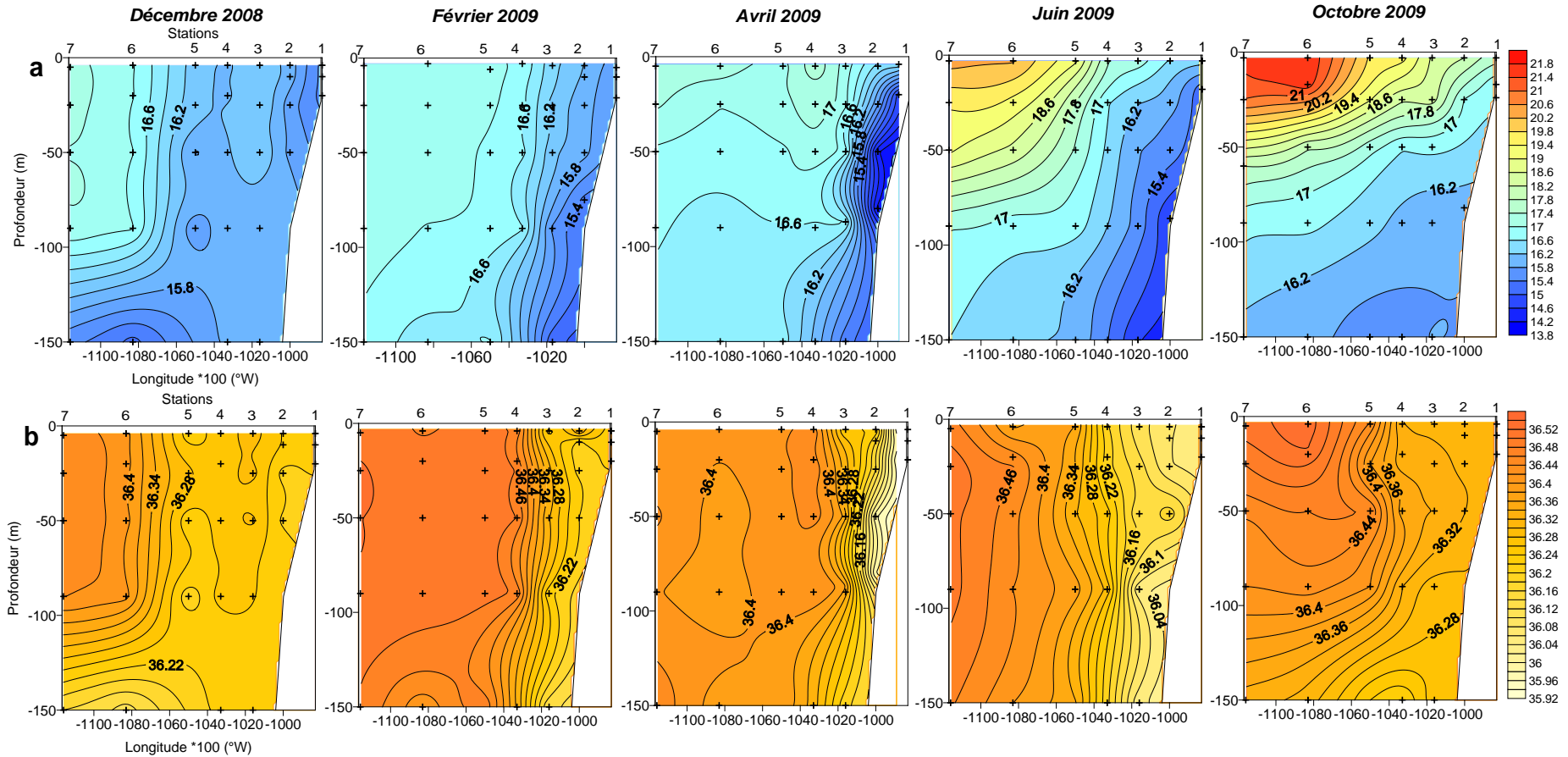
Une analyse factorielle (ACP normée) de l'ensemble des mesures réalisées (température, salinité, chlorophylle-*a*, mésozooplancton et larves de sardines et d'anchois) a été réalisée dans le but de visualiser des groupements spatiotemporels de stations. Pour cette analyse, au niveau de chaque station, on a utilisé les températures et salinités moyennes dans la couche 0-25 m, ainsi que l'intégrale de la chlorophylle-*a* entre 0 et -150 m de profondeur. Une transformation logarithmique ( $y = \log(x+1)$ ) a été effectuée sur les densités des larves afin de minimiser les effets de non-normalité (Blanc, 2000).

### 3. Résultats

#### 3.1. Hydrologie de la zone

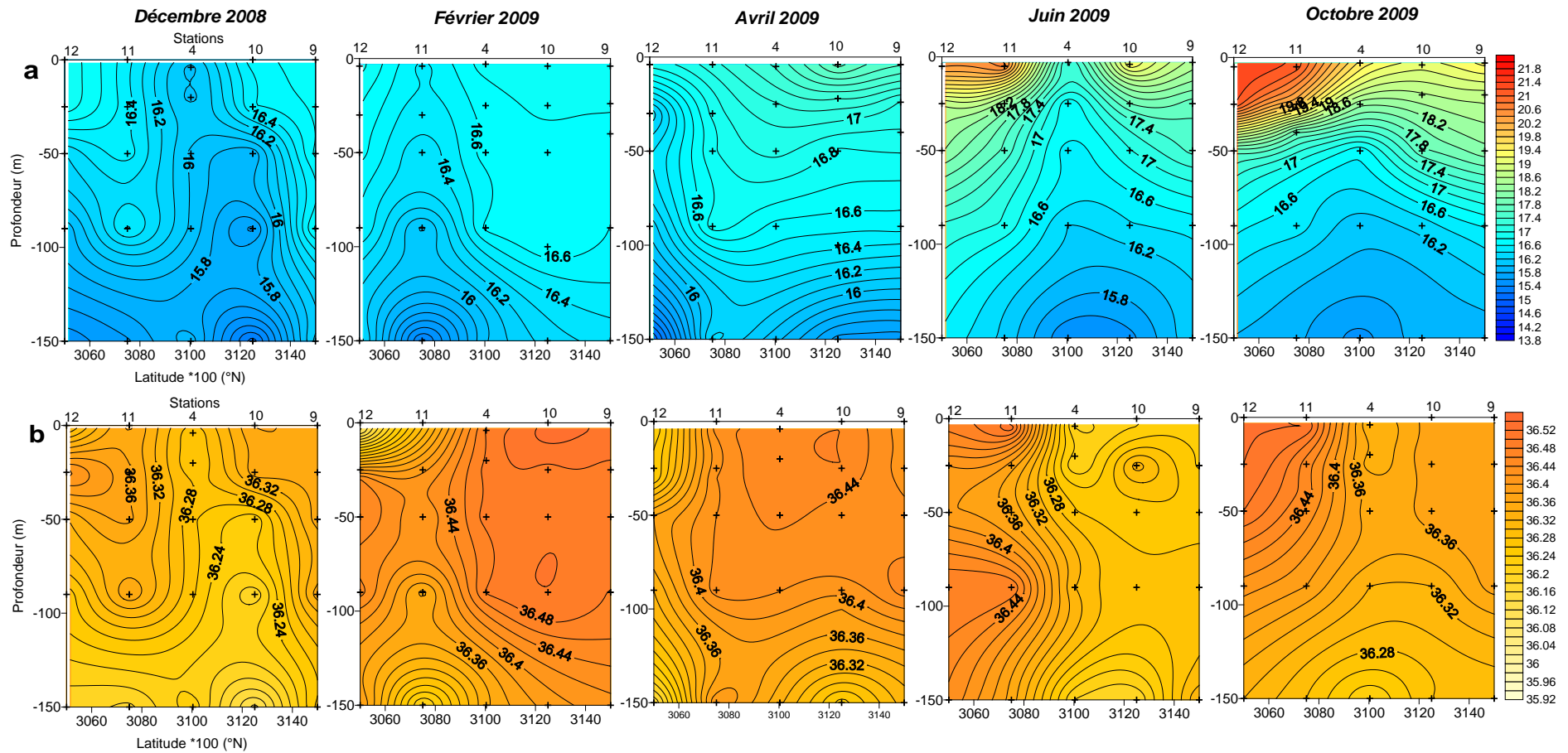
Les profils verticaux de température et salinité montrent que l'upwelling est déjà amorcé en février et avril, s'intensifie en juin et persiste jusqu'en octobre. Ces résurgences sont marquées par des gradients thermiques et halins entre la côte et le large, qui dépassent respectivement 4°C et 0,3 psu (Fig. 2a, b).

Par ailleurs, en février et avril, les profils de température et salinité de la radiale longitudinale (Fig. 3a, b) montrent une présence des eaux plus froides (~ 15°C) et moins salées (~ 36,1 psu) que les eaux océaniques, localisée vers le sud du Cap Ghir (stations 11 et 12), surtout marquée à -150m de profondeur. Durant les périodes de forte activité de l'upwelling (juin et octobre), cette présence au sud est moins marquée et, au contraire, on observe des valeurs de température et de salinité relativement faibles au nord dans les stations proches du cap Ghir (stations 10 et 4), ce qui suggère une légère dérive des eaux de l'upwelling vers le nord.

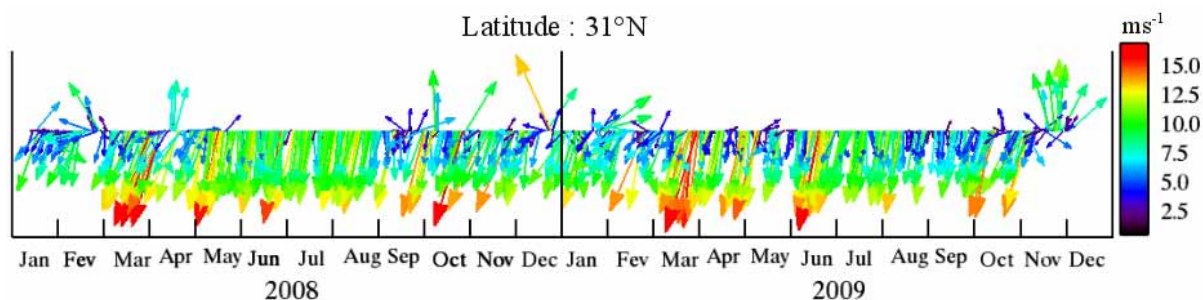


**Figure 2. (a) Profils verticaux de température (en °C) et (b) de salinité (en psu) le long de la radiale zonale 31°N (voire Figure1c).**





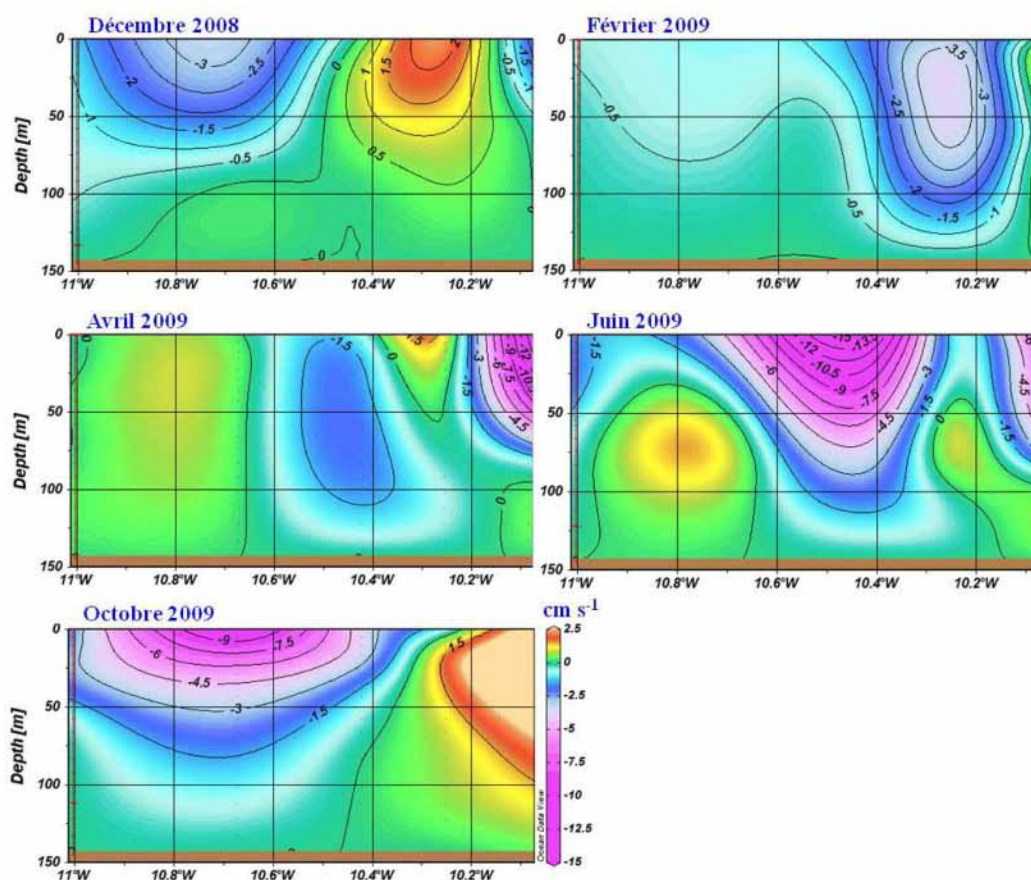
**Figure 3.** (a) Profils verticaux de température (en °C) et (b) de salinité (en psu) le long de la radiale longitudinale 10°20'W (voire figure 1c).



**Figure 4.** Direction et intensité du vent issues du produit CCMP au large du Cap Ghir (31°N) durant la période 2008-2009.

Un des précurseurs majeurs pour le maintien et l'entretien de l'activité filamentaire au niveau du Cap Ghir est le vent. Le plot de l'intensité ainsi que la direction du vent avec une synthèse hebdomadaire dérivée à partir des deux composantes majeures, à savoir la composante méridionale et la composante zonale pour la période 2008-2009, affiche majoritairement une direction nord-est (Fig. 4). De même, l'intensité du vent pour les deux années consécutives, 2008 et 2009, est comparable avec une légère relaxation pour l'année 2009. Le vent pour ces deux années est un vent favorable ( $8 \text{ à } 9 \text{ m s}^{-1}$  en moyenne) pour générer un upwelling côtier et maintenir une activité méso-échelle dont le filament du Cap Ghir.

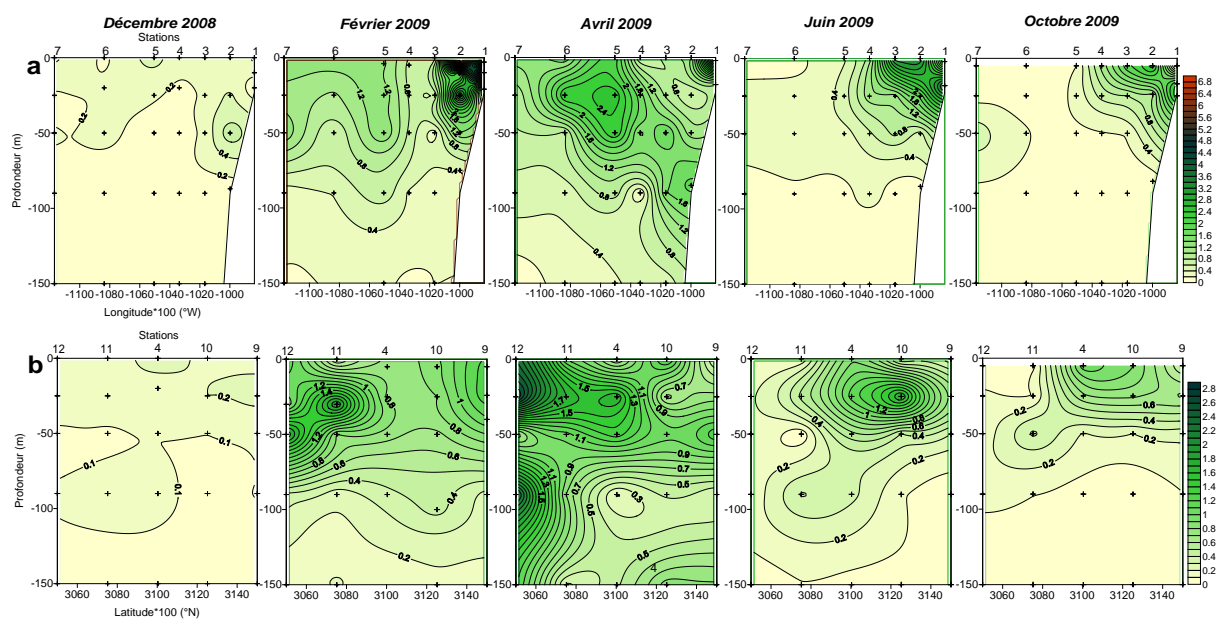
Par ailleurs, la présentation du courant géostrophique, calculé à partir des mesures hydrographiques le long de la radiale du Cap Ghir (31°N) (Fig. 5), montre la présence de cellules dont la direction et l'intensité du courant sont variables dans le temps et dans l'espace. Ainsi, un schéma de circulation dans la région peut être présenté, caractérisé essentiellement par la présence des deux cellules de circulation géostrophique, l'une côtière qui pourrait définir un gyre anticyclonique, plus marqué en février et avril, et l'autre vers le large plus prononcé en décembre et octobre qui pourrait contribuer à une circulation cyclonique.



**Figure 5.** Présentation du courant géostrophique le long de la radiale 31°N pour les différentes campagnes de mesures (le signe indique la direction du courant : positif vers le nord et négatif vers le sud).

### 3.2. Chlorophylle-*a*

La concentration en chlorophylle-*a* au niveau de la radiale 31°N présente une importante variation temporelle, tant en valeur qu'en distribution verticale. Les concentrations les plus faibles furent observées en décembre avec des valeurs ne dépassant pas  $0,74 \mu\text{g l}^{-1}$  (Fig. 6a). Les concentrations maximales sont observées en février et avril ( $6,79$  et  $4,50 \mu\text{g l}^{-1}$  respectivement), près de la côte. Au cours de ces deux périodes, l'extension de la chlorophylle-*a* vers le large est notable à partir de la station 5 (au-delà de l'isobathe 500m), où des concentrations relativement élevées ( $> 0,5 \mu\text{g l}^{-1}$ ) atteignent -100 à -150 mètres de profondeur. En juin et octobre, les teneurs en chlorophylle-*a* sont moins importantes et se situent près de la côte à -50 m de profondeur. Toutefois, une extension de faibles teneurs en chlorophylle-*a* vers le large est observée en ces deux périodes au-delà de l'isobathe 1000 (station 6) à -50 m de profondeur.

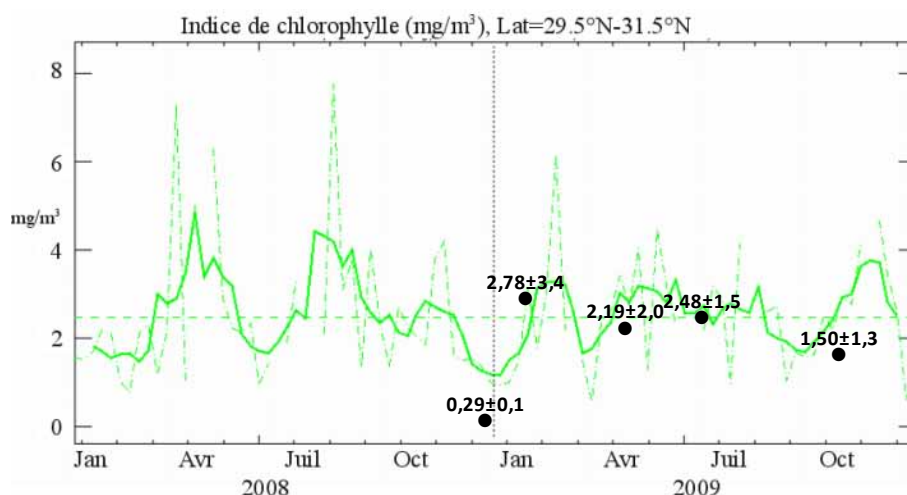


**Figure 6.** Profils verticaux de la concentration en chlorophylle-*a* ( $\mu\text{g l}^{-1}$ ) dans la région de cap Ghir, le long des radiales, (a) zonale 31°N et (b) longitudinale 10°20'W.

Sur la radiale longitudinale (nord-sud), les teneurs en chlorophylle *a* sont généralement faibles ( $< 3 \mu\text{g l}^{-1}$ ). La situation en décembre est identique à celle enregistrée au niveau de la radiale 31°N avec de faibles valeurs de chlorophylle-*a* (Fig. 6b). En février, les valeurs de plus de  $0,5 \mu\text{g l}^{-1}$  se localisent entre la surface et -60 m de profondeur le long de la radiale longitudinale. Au contraire, en avril, les plus fortes concentrations ont été enregistrées au niveau de la station la plus au sud (station 12) avec deux maxima, respectivement à -25 m ( $2,74 \mu\text{g l}^{-1}$ ) et -90 m ( $2,40 \mu\text{g l}^{-1}$ ) de profondeur. En juin, la concentration en chlorophylle-*a* est faible ( $< 2 \mu\text{g l}^{-1}$ ), avec un maximum au nord de la radiale longitudinale, à -25 m de profondeur. En octobre, les maxima sont encore plus faibles et plus côtiers. Cette situation est la signature du trajet du filament et corrobore les observations relatives à la température et la salinité.

La distribution verticale de la chlorophylle-*a* présente une variabilité notable. Sur la radiale 31°N, la profondeur du maximum de chlorophylle (DCM : Depth Chlorophyll Maximum) présente une large variabilité spatio-temporelle avec des valeurs du maximum de chlorophylle principalement situées entre 0 et -50 m. Au niveau des stations côtières (1, 2 et 3), la DCM est généralement enregistrée proche de la surface, à l'exception de la période d'avril où la DCM est plus profonde (jusqu'à -85 m). Vers le large, c'est surtout en juin et octobre que la DCM est enregistrée à des profondeurs importantes (-50 m de profondeur, aux stations 6 et 7). Sur la radiale longitudinale, la limite inférieure de la DCM ne dépasse pas -50 m, atteinte en avril au nord de cap Ghir (station 9) et en février et octobre au sud (stations 11 et 12). Ceci peut être en relation avec la circulation dans la région qui engendre des concentrations importantes à des niveaux variables.



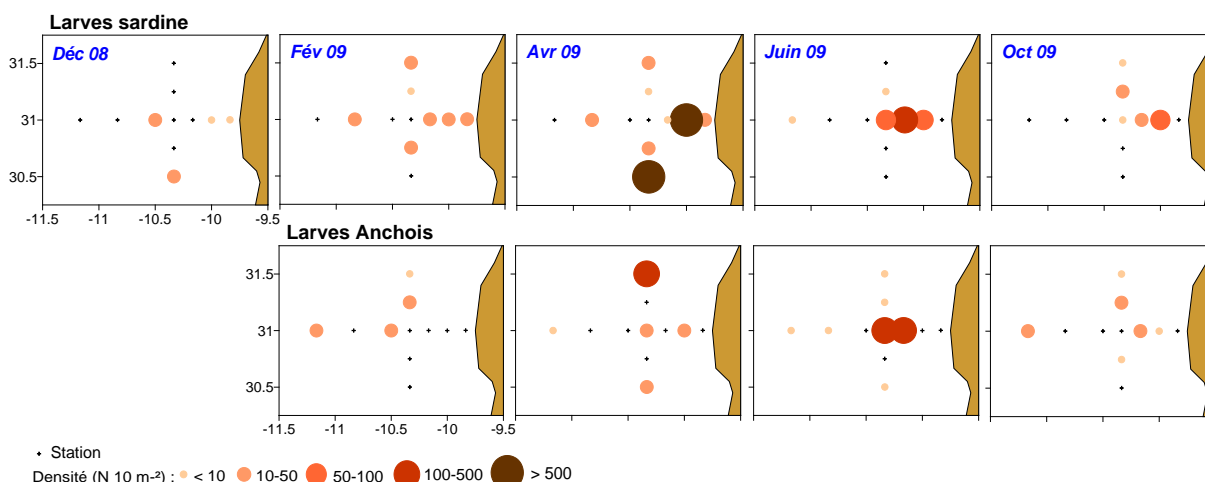


**Figure 7.** Variabilité de la concentration de la chlorophylle-a dérivée à partir de l'imagerie de couleur de l'eau du capteur Modis-Aqua du 2008 au 2009 entre la côte et l'isobathe 200 m dans la zone du Cap Ghir (ligne en tirets : variabilité hebdomadaire ; ligne continue : lissage de la variabilité). Les points correspondent à la concentration moyenne en chlorophylle-a enregistrée aux trois premières stations de la radiale 31°N (de la côte à l'isobathe 200 m) au cours des périodes prospectées.

La concentration en chlorophylle-a estimée par le capteur satellite Modis-Aqua sur toute la zone du cap Ghir (29°30'-32°N), affiche une variabilité importante aussi bien saisonnière qu'inter-annuelle. En effet, l'année 2009 peut être considérée comme une année de faible production primaire par rapport à l'année 2008. La concentration en chlorophylle-a atteint  $8 \mu\text{g l}^{-1}$  fin février 2009 et en juillet 2009 et un minimum de  $1 \mu\text{g l}^{-1}$  est observé en décembre pour les deux années (Fig. 7). Les estimations de concentration en chlorophylle-a par satellite sont globalement confirmées par les mesures *in situ*.

### 3.3. Distribution des larves de la sardine et de l'anchois

Sur l'ensemble des échantillons prélevés, 533 larves de sardines et 173 larves d'anchois ont été recensées. Les larves de ces deux espèces sont présentes surtout en avril et juin avec respectivement 61,4 et 20,3 % d'abondance relative pour la sardine et 37 et 41,6 % pour l'anchois. Les cartes de distribution de larves de sardines et d'anchois font apparaître une forte variabilité spatio-temporelle (Fig. 8). Les densités maximales sont enregistrées en avril pour la sardine ( $1060 \text{ Larves } 10 \text{ m}^{-2}$ ) et en juin pour l'anchois ( $180 \text{ Larves } 10 \text{ m}^{-2}$ ), au niveau des stations côtières. Cependant, une dispersion orientée selon la période vers le large (l'ouest), le nord ou le sud de cap Ghir est observée pour les deux espèces.



**Figure 8.** Distribution des densités des larves de sardine et d'anchois le long des radiales, zonale 31°N et longitudinale 10°20'W.

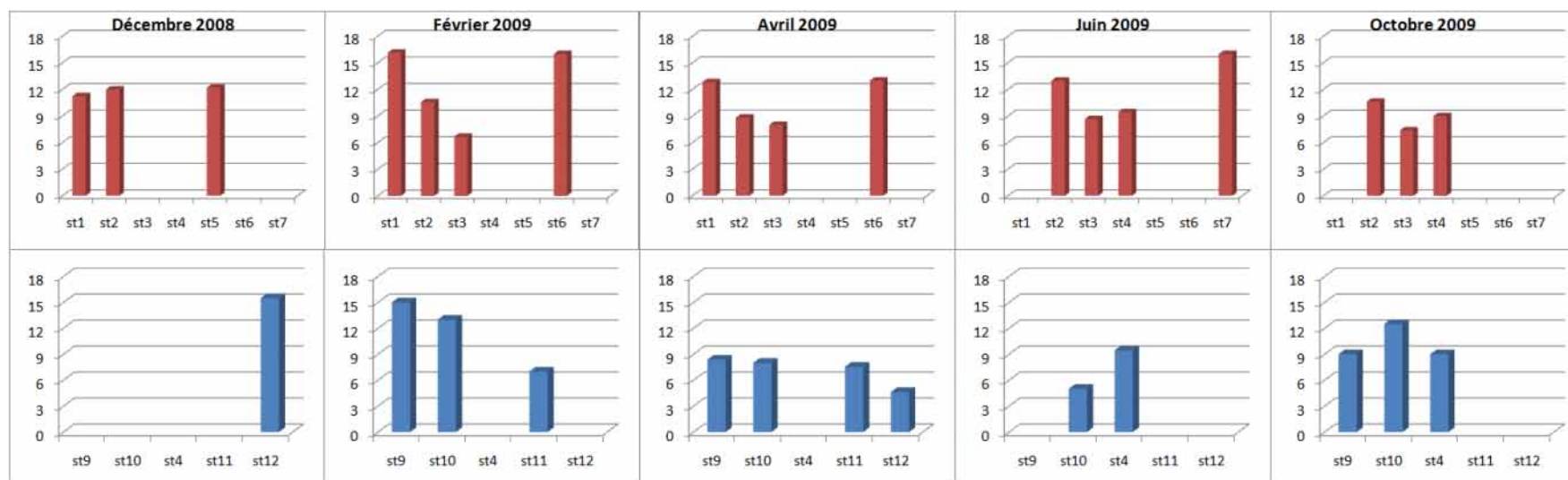


Figure 9. Répartition de la taille moyenne pondérée (mm) des larves de sardine par station le long des radiales, zonale 31°N' (en haut) et longitudinale 10°20'W (en bas).

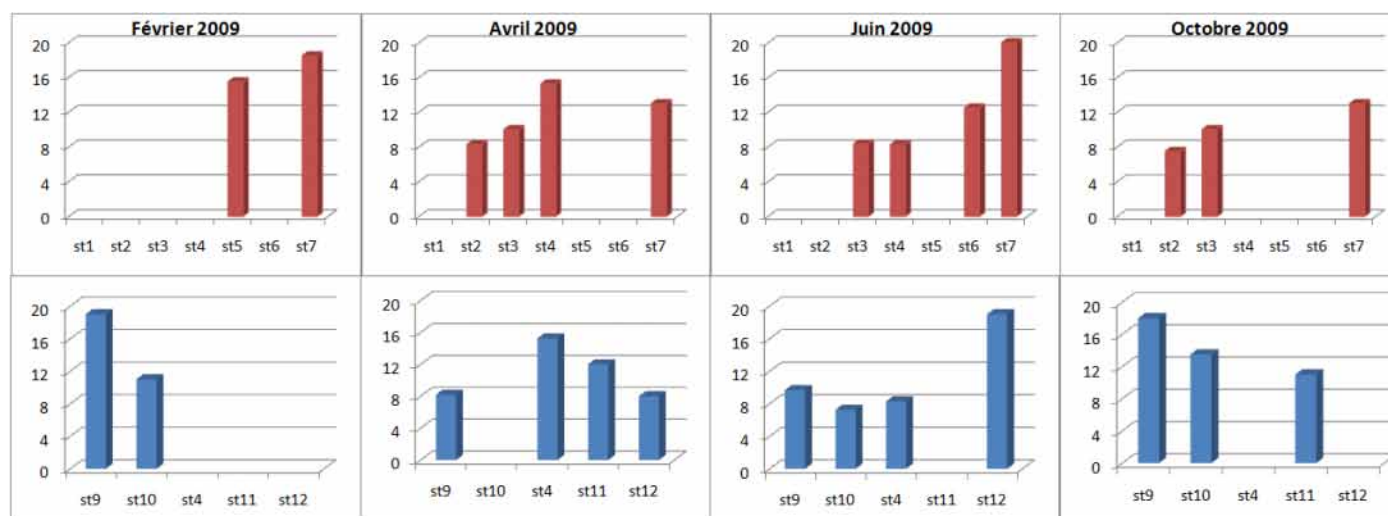


Figure 10. Répartition de la taille moyenne pondérée (mm) des larves d'anchois par station le long des radiales, zonale 31°N' (en haut) et longitudinale 10°20'W (en bas).

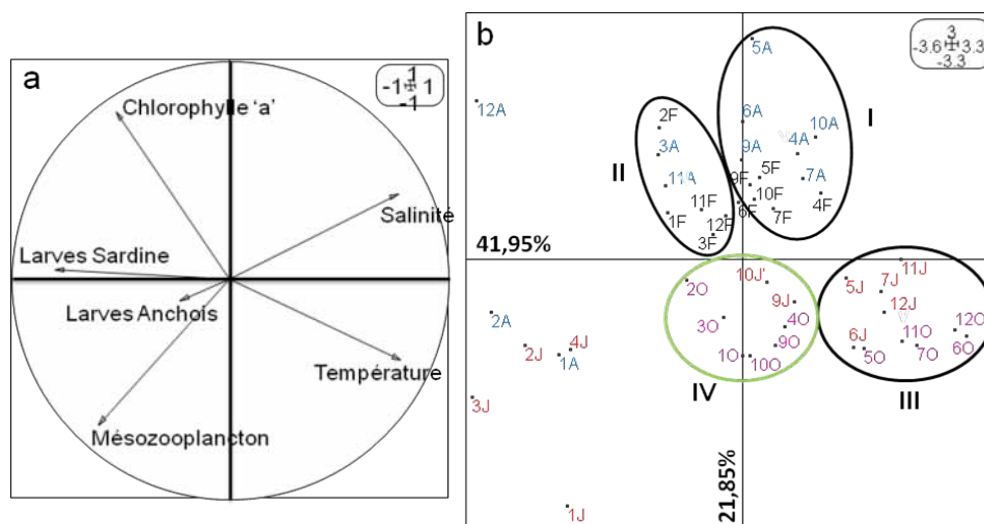
Cette dispersion est également illustrée par la répartition de la taille moyenne pondérée des larves (Figs. 9 et 10). Le long de la radiale 31°N (stations 1 à 7), la présence des larves de sardines et d'anchois n'est pas continue. Ainsi, en février et avril on note l'absence totale des larves de sardines aux stations 4, 5 et 7 mais une présence en station 6. De plus, la taille moyenne pondérée est presque la même aux stations 1 (côtière) et 6 (125 Km de la côte) au cours des deux périodes (16 mm en février et 13 mm en avril) ce qui suggère que ces larves sont issues de la même ponte. Vers le nord et le sud de la zone d'étude, les tailles moyennes pondérées sont inférieures à celles enregistrées au niveau de la côte (station 1) et au large (station 6). En effet, en avril où le nombre de larves recensées est important, nous avons noté une large différence de la taille moyenne pondérée entre la station 2, côtière (8,82 mm relative à 151 larves), et la station 12 au sud (4,62 mm relative à 138 larves). Le reste de l'année, ce phénomène est moins marqué (présence d'une ou deux larves) avec toujours un aspect discontinu de la présence des larves le long de la latitude 31°N (Fig. 9).

En février, les larves d'anchois furent observées principalement au large et au nord du cap Ghir, et étaient relativement de grande taille (tailles moyennes pondérées entre 11 et 19 mm). En avril, juin et octobre, la distribution des larves d'anchois était plus étalée le long de la radiale 31°N avec, comme pour la sardine, un aspect discontinu. De part et d'autre de la radiale 31°N, une forte présence des larves d'anchois a été observée en avril, en station 9 (46 larves), correspondant à une taille moyenne pondérée du même ordre (8 mm) que celle enregistrée en station 2 (côtière, 7 larves). En juin, une présence importante des larves d'anchois (60 larves) est notée près de la côte (stations 3 et 4) avec une taille moyenne pondérée de 8,3 mm ; alors que sur la radiale longitudinale, la majorité des larves sont observées au nord, où la taille moyenne pondérée varie entre 7,3 mm (station 10) et 9,7 mm (station 9). En octobre la présence des larves d'anchois est faible (Fig. 10).

#### 3.4. Influence des paramètres environnementaux sur la distribution des larves de sardine et d'anchois

La matrice des données correspond à l'ensemble des paramètres hydrologiques et biologiques mesurés durant toutes les périodes prospectées, à l'exception de décembre 2008 en raison d'un manque de données pour ce mois-ci.

Selon les résultats de l'ACP normée, représentés dans le plan factoriel F1xF2, les deux premiers axes représentent 63,8% de l'inertie totale. La température, la salinité et l'abondance de larves de sardines contribuent de manière presque égale, mais de façon opposée, à l'élaboration de l'axe 1 (contributions absolues : 24,5%, 23,6% et 25,2% respectivement). L'axe 2 est représenté essentiellement par la chlorophylle-*a* (43,8%) et le mésozooplancton (33,5%) qui sont corrélés négativement (Fig. 11a).



**Figure 11.** Analyse en Composante principale (ACP) normée des paramètres hydro-biologiques étudiés au cours de différentes périodes. Cercle de corrélation entre variables (a) et projection des stations dans le plan factoriel F1xF2 (b). Les nuages de points entourés correspondent à différentes tendances d'orientation de la dérive du filament : large – nord (I), côte – sud (II), sud – large (III) et côte – nord (IV). Signification des lettres associées aux points sur la figure (b) : F (février) ; A (Avril) ; J (juin) ; O (octobre).

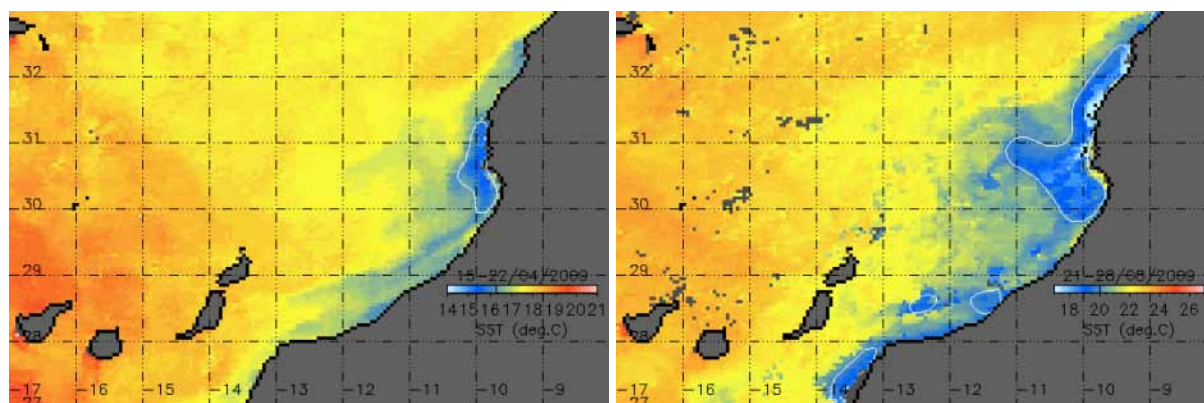
La projection des stations dans le plan factoriel F1xF2 permet de visualiser des groupements de stations au sein desquels des orientations spatiales sont identifiées en relation avec la distribution des variables (Fig. 11b). Ainsi, en juin et octobre, deux groupements sont identifiés (III et IV) en relation surtout avec la température du

milieu et la biomasse humide du mésozooplancton. Dans chaque groupement, les stations sont associées selon un plan spatial « sud – large » (III) et « côte – nord » (IV). En février et avril, la situation est inversée et les groupements identifiés sont davantage liés à la distribution de la chlorophylle-*a*. Les plans spatiaux définis par ces groupements sont « large – nord » (I) et « côte – sud » (II). Ce dernier groupement est justifié également par la distribution des larves de sardines, ce qui confirme les résultats de distribution des larves de long des deux radiales.

#### 4. Discussions et conclusion

La série temporelle de mesures effectuées nous a permis de décrire la variabilité temporelle du filament du Cap Ghir, en relation avec la saisonnalité de l'upwelling côtier. Ainsi, l'upwelling au niveau du Cap Ghir se manifeste à partir du mois de février, s'intensifie pendant le mois de juin et persiste encore en octobre 2009. En effet, en 2009 une intensification du vent, de direction nord-est parallèle à la côte, est observée entre février et juin suivi d'une période de vent plus modéré expliquant en partie la variabilité de l'upwelling dans la région.

De même, la structure du filament du Cap Ghir présente une forte variabilité saisonnière. En automne, la diminution de l'intensité des alizés induit le ralentissement du jet côtier orienté vers le sud. Cette situation, où l'upwelling se relaxe après un fort développement, favorise un étalement des eaux d'upwelling vers le large entre Cap Ghir (31°N) et Cap Sim (31°24'N) (Pelegri *et al.*, 2005b). Pendant l'hiver, en régime d'alizés faiblement établis, le filament présente une extension moindre car l'upwelling est plus faible et le jet côtier plaque le filament à la côte, vers le sud. Au printemps, le renforcement des alizés intensifie l'upwelling et le jet côtier associé, orienté vers le sud. En été, la situation se rapproche de celle de l'automne du fait d'une diminution de l'intensité du vent. Cette saisonnalité du filament est justifiée par l'analyse ACP qui montre une orientation vers le nord des eaux côtières d'upwelling, plus marquée en juin et octobre, en relation avec des vents faibles, et une orientation vers le sud en février et avril sous un vent plus intense. Ainsi, d'une part le filament gagne en intensité, du fait que l'upwelling est plus fort et, d'autre part, son extension au large est déviée vers le sud par le jet côtier. Aussi, à partir des images satellites de la température de surface, la taille approximative du filament en situation contractée (avril) et étalée (août) varie de quelques kilomètres (50) à 250 km, de la côte vers le large (Fig. 12).



**Figure 12.** Tailles approximatives du filament du Cap Ghir déduites à partir des Images satellites (Modis-AQUA) de la température de surface, par lissage de la structure de l'isotherme 16,5°C en avril et 20°C en août. Le choix des isothermes est relatif aux limites saisonnières de température des eaux d'upwelling (d'après Makaoui *et al.*, 2005).

Plusieurs auteurs ont souligné la présence de concentrations élevées de chlorophylle-*a*, dues à des assemblages dominés par les diatomées, dans la zone d'upwelling côtier et les filaments ; alors que dans les zones situées loin des filaments, ce sont en général les dinoflagellés qui abondent (Garcia-Munoz *et al.*, 2005 ; Barton *et al.*, 1998). Toutefois, bien que le phénomène de broutage par le zooplancton contrôle activement l'abondance du phytoplancton le long du filament (Hernandez-Leon *et al.*, 2002), le réchauffement rapide de la surface de l'eau en relation avec la distance vers le large pourrait induire une sédimentation des diatomées et, donc, un profond changement de la structure de la communauté phytoplanctonique (Pelegri *et al.*, 2005a). En effet, les diatomées se développent préférentiellement dans les eaux à basse température, contrairement aux dinoflagellés (Iwasaki, 1979 ; Montagnes & Franklin, 2001). Cela se traduit par une forte concentration en chlorophylle-*a* près de la côte, correspondant à un assemblage dominé par les diatomées (cellules de phytoplancton >2 µm). Au niveau de l'extension au large du filament, c'est le picoplancton (de taille < 2 µm) qui domine, ce qui est à l'origine de la faible concentration en chlorophylle-*a*. Cette constatation rejoint celle de



Joint *et al.* (2001) qui ont observé des teneurs faibles en chlorophylle au niveau de l'extension vers le large du filament du système d'upwelling ibérique, associées à la présence du picoplancton.

Ainsi le long de la radiale 31°N, l'occurrence des maxima de chlorophylle-*a* au niveau des stations côtières à des niveaux superficiels coïncide avec l'upwelling côtier qui assure une forte richesse en sels nutritifs. Plus au large, la présence de concentrations élevées ( $> 1 \mu\text{g l}^{-1}$ ) de chlorophylle-*a* est observée jusqu'à -50 m de profondeur, surtout en février et avril. Ainsi, les filaments jouent un rôle clé pour la productivité biologique dans les eaux oligotrophes du large, grâce aux quantités significatives de phytoplancton qu'ils y transportent (Cravo *et al.*, 2010).

La dérive des eaux upwellées vers le sud du Cap Ghir en février et avril est à l'origine de la forte concentration en chlorophylle-*a* mesurée au niveau de la station 12 dont la DCM varie entre -25 et -85 m. Des concentrations en chlorophylle-*a* relativement élevées sont également mesurées au nord, suggérant l'effet de l'advection, d'amplitude variable, exercé par des tourbillons de part et d'autres du Cap Ghir. Cependant, au nord de la radiale longitudinale, les concentrations en chlorophylle-*a* supérieures à  $1 \mu\text{g l}^{-1}$  n'apparaissent qu'au niveau des stations 4 et 10 (près du Cap Ghir), à une profondeur de -25 m en juin et à la surface en octobre. Ces observations témoignent d'une limitation de la dérive des eaux vers le nord en ces périodes, ainsi que le montrait déjà l'analyse des mesures de température et salinité. Selon Sanchez *et al.*, (2008), en automne les caractéristiques physiques du filament d'upwelling du sud de l'Espagne montrent une structure asymétrique de ce filament avec une circulation anticyclonique vers le nord et cyclonique, plus importante, au sud, dues à l'existence de méandres. Une telle asymétrie pourrait également expliquer le fait que le filament du Cap Ghir tende à transporter les eaux d'upwelling plus souvent au sud qu'au nord du 31<sup>ème</sup> parallèle. Ceci est confirmé également par nos résultats du courant géostrophique.

La dérive des larves est plus importante que celle des œufs, en raison de la durée du développement larvaire qui est plus longue que celle du développement embryonnaire. En effet, la durée de développement embryonnaire est de moins de 72 heures, et est fonction de la température du milieu (Ettahiri, 1996) ; alors que la durée du développement larvaire est estimée à 40 jours pour une longueur standard de 28,3 mm (0,58 mm/jour) (Masuda, 2011). De plus, Brochier *et al.*, (2008) estiment que le transport des larves de sardine et d'anchois de la côte africaine jusqu'aux îles Canaries concerne principalement les pontes réalisées au niveau du plateau continental entre Cap Ghir (30°38'N) et Cap Juby (28°N). Les larves observées aux stations 11 et 12 se trouvent, donc a priori, trop au large pour être affectées par le jet côtier orienté au sud et qui les entraînerait vers le filament du Cap Juby, filament, qui effectue l'essentiel du transport vers les îles Canaries.

La distribution des larves de sardines et d'anchois montre une présence discontinue le long de la radiale 31°N. Toutefois, vers le large (au-delà de la station 4), la présence des larves est faible ( $< 4$  individus) comparativement au nord ou au sud de cette radiale. Ainsi, la présence importante des plus petites larves de sardine (4,62 mm) observée au sud (station 12) en avril témoigne d'une forte dérive vers le sud, sachant que la ponte de la sardine est côtière, limitée au plateau continental (50 – 200 m) et les larves d'une taille moins de 6mm ont un comportement passif (Berraho, 2007). En effet, la différence de la taille moyenne pondérée observée entre la station 12 et la station côtière 2 (8,82 mm) est justifiée par les dates d'échantillonnage qui correspondent aux 18 et 25 avril respectivement. La période de 8 jours est suffisante pour que les petites larves atteignent la taille approximative de 8 mm, considérant une vitesse moyenne de croissance de 0,6 mm/jour et une taille à l'éclosion de 2,5 mm. Ceci suggère que le déplacement des larves n'est pas unidirectionnel, de la côte vers le large, mais plutôt avec une flexion vers le sud ou le nord, justifiée par des tailles plus petites, avant de reprendre un chemin vers le large. La dérive de la côte vers le nord est moins importante, ce qui se traduit par un faible nombre de larves de sardine collectées au nord et des tailles relativement grandes, suggérant une durée plus longue de l'advection depuis le lieu de ponte côtier. Toutefois, la similitude entre les caractéristiques hydrobiologiques des stations du large et celles du nord suppose un retour des eaux du large vers le nord comme montré par l'ACP normée en février et avril. Le schéma de circulation présenté par le courant géostrophique montre une circulation en avril qui fait remonter les eaux du large vers le nord, ce qui justifie nos observations. D'autant plus que le mode de circulation au niveau de la région, tel qu'il est, permet le transfert aussi bien du plancton que de l'ichtyoplancton. Ainsi, le facteur trophique ne fait pas défaut, illustré d'ailleurs par nos résultats sur la distribution de la chlorophylle-*a*, bien que les larves des petits pélagiques montrent une faible spécificité vis-à-vis des facteurs trophiques (phytoplancton et zooplancton) (Berraho, 2007).

Les distributions des larves d'anchois ne présentent pas de schéma de dérive clair. Toutefois, une présence assez marquée des larves d'anchois vers le nord en juin, période où elles abondent, peut justifier un déplacement, d'autant plus que les tailles moyennes pondérées au niveau des stations côtières et nord sont

presque similaires vu que les dates d'échantillonnage ne diffèrent que d'une journée. Ainsi, malgré que les périodes d'échantillonnage ne coïncident pas avec les pics de ponte de ces deux espèces (hiver pour la sardine et été pour l'anchois), l'influence du filament du Cap Ghir sur la distribution des larves est mieux illustrée en avril pour la sardine et en juin pour l'anchois, périodes respectives de forte abondance de leurs larves.

Les mêmes tendances d'orientations spatiales du filament ont également été observées en relation avec l'abondance des espèces de copépodes dans le filament du Cap Ghir (Salah *et al.*, 2012). Cette observation est cohérente avec la littérature, qui montre que le transport vers le large n'est pas nécessairement linéaire, puisqu'il y a parfois un retour des eaux chaudes du large vers la côte (Mooers et Robinson, 1986 ; Barton *et al.*, 1998 ; Garcia-Munoz *et al.*, 2005) le transport net devient alors temporairement côtier (Jones *et al.*, 1991). Durant la phase de relaxation de l'upwelling, un tourbillon cyclonique naît au sud du plateau du Cap Ghir, ce qui intensifie le flux vers le large et entraîne des plongées à l'intérieur de la structure filamenteuse (Stevens et Johnson, 2003).

Les observations *in situ* ont montré l'existence d'une corrélation significative entre les anomalies de salinités et la présence de larves de sardines dans les eaux entourant les îles Canaries (Moyano *et al.*, 2009). Une approche intégrant à la fois ces observations et un modèle de circulation a permis de montrer que ces corrélations étaient liées à l'arrivée dans l'archipel d'un filament d'upwelling transportant l'ichtyoplancton issu du plateau continental (Brochier *et al.*, 2011). Dans le cas des larves transportées dans le filament du Cap Ghir, il n'y a pas d'archipel à l'arrivée pouvant servir de zone de nourricerie, les chances de survie sont donc moindres, limitées par la prédation et la pauvreté en nourriture des eaux océaniques se trouvant au bout du chemin parcouru par le filament.

Enfin, dans le système des Canaries, l'intensité de l'upwelling est un facteur limitant qui se répercute sur les structures frontales à méso-échelle et sur l'activité filamentaire associées (Saavedra, 2009). De ce fait, la variabilité de distribution des larves de sardines et d'anchois serait sous l'influence de l'intensité de l'upwelling tout en considérant les périodes de pontes de chaque espèce.

## Remerciements

Cette étude entre dans le cadre de la coopération entre l'INRH (Institut National de Recherche Halieutique) et l'ULPGC (Université Las Palmas Gran Canaria) et fait partie du grand projet CAIBEX (Exchanges between continental shelf and ocean in the Canaries-Iberian marine ecosystem). Ainsi, nous remercions le professeur Javier Arestigui pour sa collaboration et Evan Mason pour la révision du résumé en anglais, ainsi que Gaspard Bertrand pour sa relecture finale.

## Références

- ARMSTRONG, D.A., MITCHELL-INNES, B.A., VERHEYE-DUA, F., WALDRON, H., & HUTCHINGS, L., 1987. Physical and biological features across an upwelling front in the southern Benguela. *In*: Payne A.I.L., J.A. Gulland & K.H. Brink (eds). The Benguela and comparable Ecosystems. *South African Journal of Marine Science*, 5, 171-190.
- BARTON, E.D., ARISTIGUI, J., TETT, P., CANTON, M., GARCIA-BRAUM, J., HERNANDEZ-LEON, S., NYKJAER, L., ALMEIDA, C., ALMUNIA, J., BALLESTEROS, S., BASTERRETXEA, G., ESCANEZ, J., GARCIA-WEILL, L., HERNANDEZ-GUERRA, A., LOPEZ-LAATZEN, F., MOLINA, R., MONTERO, M.F., NAVARRO-PÉREZ, E., RODRIGUEZ, J.M., VAN LENNING, K., VÉLEZ, H., & WILD, K., 1998. The transition zone of the Canary Current upwelling region. *Progress in Oceanography*, 41, 455-504.
- BÉCOGNÉE, P., MOYANO, M., ALMEIDA, C., RODRIGUEZ, J.M., FRAILE-NUEZ, E., HERNANDEZ-GHERRA, A., & HERNANDEZ-LEON, S., 2009. Mesoscale distribution of clupeoid larvae in an upwelling filament trapped by a quasi-permanent cyclonic eddy off Northwest Africa. *Deep-Sea Research I*, 56, 330-343.
- BERNSTEIN, R.L., BREAKER, L., & WHITRITNER, R., 1977. California current eddy formation: ship, air and satellite results. *Science*, 195, 353-359.
- BERRAHO A., 2007. Relations spatialisées entre milieu et ichtyoplancton des petits pélagiques de la côte Atlantique Marocaine (Zones central et sud). Thèse Doctorat, Université Mohammed V, Rabat, 161p.
- BLAXTER, J.H.S., 1996. Experimental rearing of pilchard larvae, *sardina pilchardus*. *Journal of Marine Biological Association of the United Kingdom*, 46, 219-234.
- BLANC L., 2000. Données spatio-temporelles en écologie et analyses multitableaux : examen d'une relation. Thèse Doctorat, Université Claude Bernard, Lyon I, 266p.

- BROCHIER T., MASON, E., MOYANO, M., BERRAHO, A., COLAS, F., SANGRA, P., HERNANDEZ-LEON, S., ETTAHIRI, O., & LETT, C., 2011. Ichthyoplankton transport from the African coast to the Canary Islands. *Journal of Marine Systems*, 87, 109-122.
- BROCHIER T., RAMZI, A., LETT, C., MACHU, E. BERRAHO, A., FREON, P., & HERNANDEZ-LEON, S., 2008. Modelling sardine and anchovy ichthyoplankton transport in the Canary Current System. *Journal of Plankton Research*, 30(10), 1133-1146.
- CHAVEZ, F.P., BARBER, R.T., KOSRO, P.M., HUYER, A., RAMP, S.R., STANTON, T.P., & ROJAS DE MENDIOLA, B., 1991. Horizontal transport and the distribution of nutrients in the coastal zone off northern California: effects on primary production, phytoplankton biomass and species composition. *Journal of Geophysical Research*, 96(C8), 14833-14848.
- CRAVO, A., RELVAS, P., CARDIERA, S., RITA, F., MADUREIRA, M., & SANCHEZ, R., 2010. An upwelling filament off southwest Iberia: Effect on the chlorophyll a and nutrient export. *Continental Shelf Research*, 30, 1601-1613.
- DAVENPORT, R., NEUER, S., HERNANDEZ-GUERRA, A., RUEDA, M.J., LLINAS, O., FISHER, G., & WEFER, G., 1999. Seasonal and interannual pigment concentration in the Canary Islands region from CZCS data and comparison with observations from the ESTOC. *International Journal of Remote Sensing*, 20(7), 1419-1433.
- ETTAHIRI, O., 1996. Etude de la phase planctonique de la sardine, *Sardina pilchardus* (Walb.) et de l'anchois, *Engraulis encrasicolus* (L.) des côtes atlantiques marocaines. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 217p.
- FLAMENT, P., ARMI, L., & WASHBURN, L., 1985. The evolving structure of an upwelling filament. *Journal of Geophysical Research*, 90, 11765-11778.
- GABRIC, A.J., LUIS, G., Van CAMP, L., NYKJAER, L., WALTER E., & WOLFRAM, S., 1993. Offshore export of shelf production in the Cape Blanc (Mauritania) giant filament as derived from coastal zone colour scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 98(C3), 4697-4712.
- GARCIA-MUNOZ, M., ARESTIGUI, J., PELEGRI, J.L., ANTORANZ, A., OJEDA A., & TORRES, M., 2005. Exchange of carbon by an upwelling filament off Cape Ghir (NW Africa). *Journal of Marine systems*, 54, 83-95.
- HAGEN, E., ZULICKE, C., & FEISTEL, R., 1996. Near-surface in the Cape Ghir filament off Morocco. *Oceanologica Acta*, 19(6), 577-598.
- HERNANDEZ-GUERRA, A., & NYKJAER, L., 1997. Sea surface temperature variability off north-west Africa: 1981-1989. *International Journal of Remote Sensing*, 18(1), 2539-2558.
- HERNANDEZ-LEON, S., ALMEIDA, C., PORTILLO-HAHNEFELD, A., GOMEZ, M., RODRIGUEZ, J.M., & ARESTIGUI, J., 2002. Zooplankton biomass and indices of feeding and metabolism in relation to a filament off the northwest African upwelling zone. *Journal of Marine Research*, 60, 327-346.
- IWASAKI, H., 1979. Physiological Ecology of Red tide Flagellates. *Biochemistry and Physiology of Protozoa*, 2nd edition, 1, 357-393.
- JONES, B.D., MOOERS, C.N.K., RIENECKER, M.M., STANTON, T., & WASHBRUN, L., 1991. Chemical and biological structure and transport of a cool filament associated with a jet-eddy system off northern California in July 1986 (OPTOMA 21). *Journal of Geophysical Research*, 96, 22207-22225.
- JOINT, I., INALL, M., TORRES, R., FIGUEIRAS F.G., ALVAREZ-SALGADO, X.A., REES, A.P., WOOSWARD, E.M.S., 2001. Two lagrangian experiments in the Iberian Upwelling System: tracking an upwelling event and an off-shore filament. *Progress in Oceanography*, 51, 221-248.
- MAKAOU, A., ORBI, A., HILMI, K., ZIZAH, S., LAARISSI, J. & TALBI, M., 2005. L'upwelling de la côte Atlantique du Maroc entre 1994 et 1998. *Comptes Rendus Geoscience*, 337, 1518-1524.
- MASUDA, R., 2011. Ontogeny of swimming speed, schooling behaviour and jellyfish avoidance by Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*. *Journal of Fish Biology*, 78, 1323-1335.
- MEUNIER, T., ROSSI, V., MOREL, Y., & CARTON, X., 2010. Influence of bottom topography on an upwelling current: Generation of long trapped filaments. *Ocean Modeling*, 35(4), 277-303.
- METHOT, R.D. & KRAMER, D., 1979. Growth of northern anchovy (*Engraulis encrasicolus*), larvae in the sea.

*Fishery Bulletin U.S.*, 77(2), 413-423.

- MONTAGNES, D.J.S. & FRANCLIN, D.J., 2001. Effect of temperature on diatom volume, growth rate and carbon and nitrogen content: Reconsidering some paradigms. *Limnology and Oceanography*, 46, 2008-2018.
- MOOERS, C.N.K., & ROBINSON, A.L., 1986. Turbulent jets and eddies in the California current and inferred cross-shore transports. *Science*, 223, 51-53.
- MOTOS, L., 1996. Reproductive biology and fecundity of the Bay of Biscay anchovy population (*Engraulis encrasicolus* L.). *Scientia Marina*, 60, 195-207.
- MOYANO, M., RODRIGUEZ, J.M., & HERNANDEZ-LEON, S., 2009. Larval fish abundance and distribution during the late winter bloom off Gran Canarias Island, Canary Islands. *Fisheries Oceanography*, 18, 51-61.
- NAVARRO-PÉREZ, E., & BARTON, E.D., 1998. The physical structure of an upwelling filament off the northwest African coast during August 1993. *South African Journal of Marine Science*, 19, 61-74.
- NEUER, S., DAVENPORT, R., FREUDENTHAL, T., MEGGERS, H., RUEDA, M., & LLINAS, O., 2001. The Cape Ghir filament off NW Africa in winter. American Geophysical Union, fall meeting San Francisco, 10-14 December 2001.
- NYKJAER, L., VAN CAMP, L., & SCHLITTENHARDT, P., 1988. The structure and variability of a filament in the Northwest African upwelling area as observed from AVHRR and CZCS images. Proceedings of IGARSS 88 Symposium, Edinburg, Scotland, 1097-1100.
- PELEGRI, J.L., ARESTIGUI, J., CANA, L., GONZALEZ-DAVILA, M., HERNANDEZ-GUERRA, A., HERNANDEZ-LEON, S., MARRERO-DIAZ, A., MONTERO, M.F., SANGRA, P., & SANTANA-CASIANO, M., 2005a. Coupling between the open ocean and the coastal upwelling region off northwest Africa: water recirculation and offshore pumping of organic matter. *Journal of Marine Systems*, 54(1-4), 3-37.
- PELEGRI, J.L., MARRERO-DIAZ, A., RATSIMANDRESY, A., ANTORANZ, A., CISNEROS-AGUIRRE, J., GORDO, C., *et al.*, 2005b. Hydrographic cruises off northwest Africa: the Canary Current and the Cape Ghir region. *Journal of Marine Systems*, 54(1-4), 39-63.
- RAMP, S.R., JESSEN, P.F., BRINK, K.H., NIILER, P.P., DAGGETT, F.L., & BEST, J.S., 1991. The physical structure of cold filaments near Point Arena, California, during June 1987. *Journal of Geophysical Research*, 96, 14859-14883.
- RODRIGUEZ, J.M., HERNANDEZ-LEON, S., & BARTON, E.D., 1999. Mesoscale distribution of fish larvae in relation to an upwelling filament off Northwest Africa. *Deep-Sea Research I*, 46, 1969-1984.
- SAAVEDRA, K.N., 2009. Variabilidad Oceanica de mesoescala en los ecosistemas de afloramiento de Chile y Canarias: una comparacion a partir de datos stelatales. PhD, Universidad Salamanca, 177p.
- SALAH, S., ETTAHIRI, O., BERRAHO, A., BENAZZOZ, A., ELKALAY K., & ERRHIF A., 2012. Distribution des copépodes en relation avec la dynamique du filament de Cap Ghir (Côte Atlantique du Maroc). *Comptes Rendus Biologies*, 335(2), 155-167.
- SANCHEZ, R.F., RELVAS, P., MARTINHO, A., & MILLER, P., 2008. Physical description of an upwelling filament west of Cape St. Vincent in late October 2004. *Journal of Geophysical Research*, 113 (C07044), 1-21.
- SHILLINGTON, F.A., PETERSON, W.T., HUTCHINGS, L., PROBYN, T.A., WALDRON, H.N., & AGENBAG, J.J., 1990. A cool upwelling filament off Namibia, southwest Africa: preliminary measurements of physical and biological features. *Deep-Sea Research*, 37(1), 1753-1772.
- STEVENS, I., & JOHNSON, J., 2003. A numerical modelling study of upwelling filaments off the NW African coast. *Oceanologica Acta*, 26, 549-564.
- STRUB, P.T., KOSRO, P.M., & HUYER, A., 1991. The nature of the cold filaments in the California Current System. *Journal of Geophysical Research* 96(C8), 14743-14768.
- TROUPIN, C., 2011. Study of the Cape Ghir upwelling filament using variational data analysis and regional numerical model. Thèse de Doctorat en Science, Université de Liège, 244p.
- VAN CAMP L., NYKJAER, L., MITTELSTAEDT, E., & SCHLITTENHARDT, P., 1991. Upwelling and boundary circulation off Northwest Africa as depicted by infrared and visible satellite observations. *Progress in Oceanography*, 26(4), 357-402.